



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

EL PERÚ PRIMERO



BOLETÍN CIENTÍFICO  
EL NIÑO

Influencia de la precipitación sobre los flujos de sedimentos en el Amazonas: una síntesis basada en 20 años de monitoreo.

**Pág. 4**

Validación del ciclo anual de la temperatura superficial del mar de dos *reanalysis* (GLORYS12V1 y PSY4V3) frente a la costa peruana.

**Pág. 12**

Resumen del informe técnico de El Niño.

**Pág. 17**

Resumen del Comunicado ENFEN.

**Pág. 18**

Vol. 7 N° 04 Abril 2020



IGP

Instituto  
Geofísico  
del Perú

## CRÉDITOS

### **Gabriel Quijandría Acosta**

Ministro del Ambiente

### **Instituto Geofísico del Perú:**

### **Hernando Tavera Huarache**

Presidente Ejecutivo

### **Danny Scipión Castillo**

Director Científico

### **Yamina Silva Vidal de Millones**

Directora

Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

### **Equipo editorial:**

### **James Apaéstegui Campos**

### **Kobi Mosquera Vásquez**

### **Katherine Morón Rodríguez**

### **Diagramación:**

### **Luis Miguel Ybañez Romero**

Carátula: río Marañón - Perú

Foto: John David Rodríguez Mamani

Lima, diciembre de 2020

El boletín científico "El Niño" es generado en el marco del Programa Presupuestal N° 068 "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres".

Producto 1: Estudios para la estimación del riesgo de desastres

Actividad 5: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño

Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo, Ate, 15012.

Teléfono: 51-1-3172300

---

# EDITORIAL

---

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), institución pública adscrita al Ministerio del Ambiente, tiene por finalidad generar, utilizar y transferir conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines. El IGP forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del riesgo de desastres en el Perú, con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

El IGP, a través del Programa de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático, genera conocimiento científico sobre los componentes del sistema climático (atmósfera, océano, suelo, biósfera y criósfera) y la interacción entre ellos. El Niño - Oscilación del Sur es uno de los principales modos de variabilidad, el cual es objeto de estudio en el programa de investigación, debido a la alta vulnerabilidad del Perú y los impactos negativos asociados.

Desde el 2014, el IGP y otras instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN) participan en el Programa Presupuestal 068: "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" - PREVAED, contribuyendo con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres". El IGP realiza la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos, además de otros estudios que fortalecen en forma continua la capacidad de monitoreo y pronóstico de El Niño en el Perú.

Con el fin de divulgar el conocimiento científico, el Instituto Geofísico del Perú presenta periódicamente sus investigaciones y avances en temas de variabilidad y cambio climático, a través de su Boletín Científico "El Niño", tratando de presentar la información con un lenguaje sencillo y sintetizando los aspectos más relevantes de dichas investigaciones. El objetivo es que las autoridades y técnicos especialistas en la gestión del riesgo de desastres (GRD) pertenecientes a los tres niveles de gobierno, así como el público en general interesado, puedan tener como fuente de conocimiento a los materiales de investigación que el IGP genera.

El presente ejemplar suma dos artículos de investigación. El primero, titulado "Influencia de la precipitación sobre los flujos de sedimentos en el Amazonas: una síntesis basada en 20 años de monitoreo" presenta la estimación de los flujos de sedimentos en la llanura amazónica con base a relaciones empíricas sobre una robusta base de datos. Así mismo, determina que las lluvias influyen en los flujos de sedimentos finos, mientras que el caudal rige el transporte de arenas en suspensión.

El segundo artículo, titulado "Validación del ciclo anual de la temperatura superficial del mar de dos reanalysis (GLORYS12V1 y PSY4V3) frente a la costa peruana" presenta los resultados del análisis del ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM) de dos modelos de alta resolución con respecto a datos observados. Considerando la validación realizada, se determina que el modelo PSY4V3 es el más adecuado para representar las variaciones espaciales de TSM, así como la máxima amplitud del ciclo anual frente a la costa peruana.

En este boletín se presenta también el resumen del informe técnico de El Niño, documento que forma parte de los compromisos asumidos por el IGP en el marco del PPR 068. En esta edición el informe indica que en la actualidad se observan condiciones "neutras" frente a la costa peruana y, según los pronósticos de los modelos numéricos de las agencias internacionales, se tendría un escenario, tanto en el Pacífico central como oriental, ligeramente frío, siendo para la primera región (central) una condición fría débil a partir de agosto de 2020.

Al final de este boletín también se incluye el resumen del Comunicado Oficial del ENFEN, indicando que se mantiene el sistema de alerta en "No Activo", debido a que si bien se espera el desarrollo de temperaturas del mar ligeramente por debajo de lo normal frente a la costa del Perú en lo que resta del mes de abril y hasta inicios del invierno, estas se encontrarán dentro del rango de condiciones neutras. Es importante advertir que, en caso de existir discrepancias con el informe técnico de El Niño emitido por el IGP, prevalecerá lo establecido en el Comunicado Oficial del ENFEN.

## **DIVULGACIÓN CIENTÍFICA**

# **INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN SOBRE LOS FLUJOS DE SEDIMENTOS EN EL AMAZONAS: UNA SÍNTESIS BASADA EN 20 AÑOS DE MONITOREO**

**Elisa Armijos <sup>1,2</sup>, Alain Crave <sup>3</sup>, Jhan Carlo Espinoza <sup>4</sup>, Naziano Filizola <sup>2</sup>,  
Raúl Espinoza-Villar <sup>5</sup>, Irma Ayes <sup>6</sup>, Paula Fonseca <sup>6</sup>, Pascal Fraizy <sup>7</sup>,  
Omar Gutierrez <sup>8</sup>, Philippe Vauchel <sup>7</sup>, Benoit Camenen <sup>9</sup>, Jean Michel Martinez <sup>7</sup>,  
André Dos Santos <sup>6,10</sup>, William Santini <sup>7</sup>, Gérard Cochonneau <sup>7</sup> y Jean Loup Guyot <sup>7</sup>**

## **RESUMEN**

La vida en la región amazónica está principalmente relacionada con la estacionalidad del régimen hidrológico fluvial. La riqueza de la biodiversidad y productividad de la llanura de inundación depende de los nutrientes y la materia orgánica que son transportados por los ríos en los sedimentos en suspensión, desde los Andes hacia el océano Atlántico. Sin embargo, poco se conoce sobre la influencia de la variabilidad hidrológica y pluvial en los flujos sedimentarios. Para abordar esta brecha, analizamos 3069 muestras superficiales de agua y sedimentos recolectadas en el centro del río, cada 10 días durante el período 1995-2014, en 6 estaciones ubicadas en el río Amazonas y sus tributarios. Este análisis se ha realizado haciendo una distinción del tamaño de las partículas, sedimentos finos (arcilla y limo) y sedimentos gruesos (arena). Considerando esta distinción, se estimó, por primera vez, que en la llanura amazónica predomina el flujo de sedimento fino con un 60 % y las arenas representan el 40 % complementario. La lluvia tiene una relación con la producción de sedimentos finos, mientras que el caudal rige el transporte de arenas en suspensión. Adicionalmente, este trabajo presenta el tiempo de respuesta entre la lluvia y el caudal. Los resultados obtenidos en este estudio son una contribución importante a la dinámica biológica y geomorfológica en la cuenca del Amazonas.

El artículo científico original se encuentra en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ab9003>

**Palabras clave:** *Amazonía, arenas, limos, arcillas, lluvia, caudal y llanura amazónica.*

## **AFILIACIÓN:**

- 1- Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú;
- 2- Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Brazil;
- 3- Univ. Rennes, CNRS, Géoscience Rennes, UMR 6118, 3500 Rennes, France;
- 4- Univ. Grenoble Alpes, IRD, CNRS, Grenoble INP, Institute des Géosciences de l'Environnement (IGE, UMR 5001), 38000 Grenoble, France;
- 5- Univ. Nacional Agraria La Molina. UNALM. Av. La Molina s/n. Lima, Perú;
- 6- CLIAMB. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Brazil;

- 7- IRD, Géoscience Environnement Toulouse (GET-CNRS, IRD, Université de Toulouse), Toulouse, France;
- 8- LMD, Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), Sorbonne Université, Paris, France;
- 9- Irstea, UR RiverLy, Centre de Lyon-Villeurbanne, Villeurbanne, France;
- 10- Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Manaus, Brazil.

Citar como: Armijos, E., Crave, A., Espinoza, J. C., Filizola, N., Espinoza-Villar, R., Ayes, I., ... & Guyot, J. L. (2020). Influencia de la precipitación sobre los flujos de sedimentos en el Amazonas: una síntesis basada en 20 años de monitoreo. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 Nº 04, pag. 4-11.*

## INTRODUCCIÓN

El río Amazonas o Santa María del Mar Dulce, como fue denominado por el español Vicente Yáñez Pinzón en el siglo XVI, drena sus aguas hacia el océano Atlántico, contribuyendo con casi la quinta parte de la descarga mundial de agua dulce (Callède et al., 2010, Espinoza et al., 2009b). Además, suministra el 40 % del flujo de sedimentos en el mundo al océano Atlántico (Milliman y Farnsworth 2011). Los nutrientes contenidos en estos sedimentos durante su trayectoria son el sustento para la productividad de la inmensa llanura amazónica (Mc Clain y Naiman, 2008).

La cuenca amazónica es una zona crítica y estratégica para estudiar los efectos del cambio climático y la perturbación humana sobre los flujos de agua, sedimentos y flujos biogeoquímicos. En las últimas décadas, la expansión de la agricultura y la proyección/construcción de centrales hidroeléctricas plantean interrogantes y preocupaciones sobre sus impactos en los caudales; Asimismo, en la alteración del flujo de sedimentos en el río Amazonas (Latrubesse et al., 2017; Anderson et al., 2018).

La relación entre las precipitaciones y los sedimentos ha sido poco documentada en la región amazónica. No obstante, se ha demostrado una relación directa y lineal entre el caudal y la concentración de sedimentos para los ríos andinos de Perú y Bolivia (Armijos et al., 2013, Guyot et al., 1996). Para la planicie amazónica, esta relación se transforma en una histéresis bien marcada, lo cual se explica por el ingreso de tributarios con diferentes concentraciones de sedimentos (Dunne et al., 1998).

Basado en estudios previos, se determina que el río Amazonas y sus afluentes transportan dos fracciones de tamaño de sedimentos suspendidos bien definidas: sedimento fino [Cf] y arenas [Cc] (Dunne et al., 1998, Armijos et al., 2017, Bouchez et al., 2011). Este estudio propone, a través de un enfoque empírico, estimar el flujo de sedimentos en suspensión en el río Amazonas y sus tributarios. Para lo cual, establece una relación a partir de 20 años de datos observados, entre la precipitación, el caudal y la concentración de sedimentos. Estos resultados pueden servir de base para evaluar los impactos en la Amazonia por efecto de la presión antrópica y el cambio climático.

## DATOS Y MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca amazónica se extiende desde los Andes hasta el océano Atlántico en un área de 6 000 000 km<sup>2</sup>, recorriendo alrededor de 6850 km y aportando un caudal de 2 100 000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Este estudio considera 6 estaciones hidrológicas localizadas en la planicie peruana-brasilera. La estación Tamshiyacu (TAM) está ubicada en el río Amazonas en Perú, después de la confluencia de los ríos Ucayali y Marañón. En Brasil, la estación de Manacapuru (MAN) está ubicada en el río Solimões, aguas arriba de la confluencia con el río Negro. Dos estaciones hidrológicas en el río Madeira: la estación Porto Velho (PTV) que se encuentra aguas abajo de la frontera entre Bolivia y Brasil, y la estación Fazenda Vista Alegre (FVA) aguas arriba de la confluencia con el Río Amazonas. En el río Branco, la estación de Caracarai (CAR) se ubica aguas arriba de la confluencia con el río Negro, y finalmente la estación de Óbidos (OBI) se ubica a 870 km aguas arriba de la desembocadura al océano Atlántico (Figura 1).

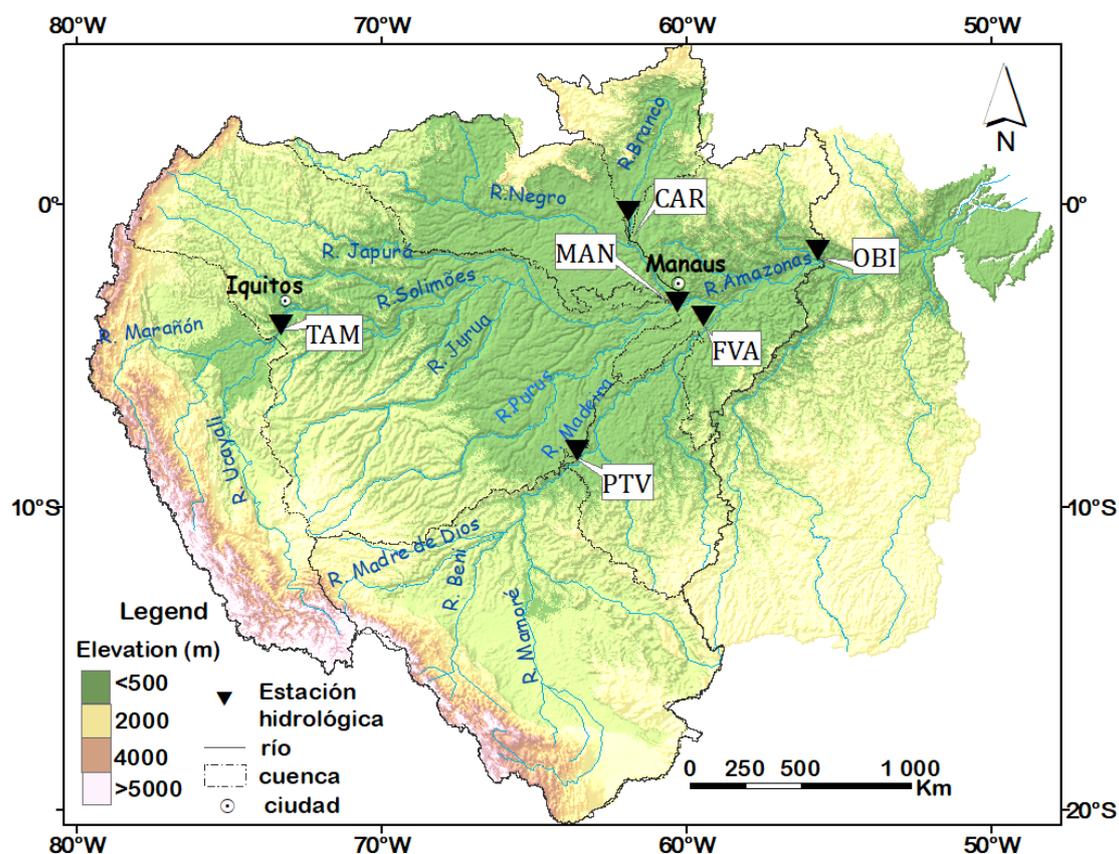


Figura 1. Localización de las estaciones hidrológicas en la cuenca del río Amazonas. Tamshiyacu (TAM), Manacapuru (MAN), Caracarai (CAR), Porto Velho (PTV), Fazenda Vista Alegre (FVA), y Óbidos (OBI).

## DATOS

Los datos de lluvia provienen del producto CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) con una resolución espacial de 0.25° (Funk et al., 2015). La medición de caudales se realizó con un correntómetro a efecto Doppler (ADCP) Río Grande de 600 kHz. En Perú, las mediciones inician en 2003, y en Brasil desde 1995, para el presente estudio, se ha considerado datos de caudales hasta el 2014. La base de datos proviene del SO HYBAM y está disponible en <http://www.ore-hybam.org/>. Para determinar la concentración de sedimentos en suspensión se tomaron muestras a varias profundidades y en diferentes perfiles del río, considerando el criterio de la misma distribución de caudal a lo largo de la sección transversal.

Para cada muestra obtenida se separan las arenas y finos (limos y arcillas) utilizando un tamiz de 63  $\mu\text{m}$ , posteriormente se usa un filtro de celulosa de 0,45  $\mu\text{m}$  que descarta material disuelto, por lo que el análisis de la concentración de sedimentos en suspensión considera dos fracciones: partículas > 0.45  $\mu\text{m}$  y < 63  $\mu\text{m}$  llamadas concentración de sedimento finos ([Csf]) y partículas > 63  $\mu\text{m}$  llamada concentración de arenas ([Cc]). Los detalles de las mediciones de campo se describen en Armijos et al., (2017) y Vauchel et al., (2017).

## METODOLOGÍA

El tiempo de retraso entre la precipitación (R) y el caudal (Q) se determinó a través del análisis de la correlación cruzada en información a paso de tiempo diario. Se utilizó la precipitación promedio de cada área de la cuenca y el caudal diario

en cada una de las seis estaciones. Previo al análisis de correlación cruzada se eliminó la estacionalidad en ambas series sustrayendo el ciclo climatológico anual medio.

Armijos et al. (2017) determinaron un aumento de [Cc] durante el período de crecidas, lo cual evidencia que el río Amazonas y sus tributarios tienen mayor capacidad de transporte durante estos períodos. En tal sentido, se propone una relación empírica potencial entre caudal y [Cc] (Ecuación 1). Debido a las diferencias de superficie en cada cuenca se utilizó la velocidad de cizalla ( $u^*$ ) como parámetro de normalización a fin de comparar los resultados obtenidos en cada estación.

$$[Cc] = au^{*b} \quad (1)$$

Finalmente, usando también un ajuste potencial, se exploró la relación mensual entre la precipitación (R) y el flujo de sedimentos finos ( $Q_{sf}$ ). (Ecuación 2)

$$Q_{sf} = aR^b \quad (2)$$

Se utilizó error cuadrático medio y el coeficiente de correlación para evaluar la eficiencia del ajuste en las relaciones.

## RESULTADOS

### RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN Y CAUDAL

El pico máximo de precipitación ocurre entre enero y marzo, mientras que los caudales presentan máximos valores entre mayo y junio. Asimismo, se observa una correlación positiva significativa entre el caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones en el área de drenaje ( $r= 0.95$ ). El tiempo de respuesta determinado por el análisis de correlación cruzada indica que la precipitación que cubre el área controlada por la estación de Tamshiyacu, en Perú, es de 53 días. Para la estación de Óbidos en Brasil, que cubre casi toda la cuenca amazónica, el tiempo de respuesta entre la precipitación y el caudal es de 102 días (Tabla 1).

### RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL Y LA [CC]

Se observa que existe una correlación significativa entre el caudal y la [Cc] ( $r=0.57$ ), lo cual nos indica que en el momento de máximos caudales la corriente tiene la capacidad de transportar partículas del tamaño de las arenas ( $> 63 \mu m$ ). Además, se observa en la relación empírica que cinco de las seis estaciones tienen exponentes b (en la ecuación 2) cercanos oscilando en un rango que va entre 5 y 6 con excepción de la estación de Óbidos (Tabla 1).

# RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN Y CAUDAL SÓLIDO DE SEDIMENTOS FINOS QSF

Este estudio muestra que existe una correlación potencial significativa entre la precipitación y Qsf ( $r=0.7$ ). Los exponentes de la ecuación varían en el orden de 1.9 y 2.3, con excepción de la estación de Caracarai cuyo valor es 1.16. Se observa que existe un mes de retraso para algunas estaciones, lo que podría estar relacionado con la distribución espacial de la precipitación, dado que es heterogénea para las diferentes regiones de estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Tiempo de respuesta entre precipitación ( $\text{mm día}^{-1}$ ) y caudal ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ), las relaciones entre  $u^*$  ( $\text{m s}^{-1}$ ) y  $[Cc]$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) y entre precipitación ( $\text{mm mes}^{-1}$ ) y Qsf ( $\text{t mes}^{-1}$ ) para las seis estaciones respectivamente.

Río	Estación Hidrológica	Precipitación (R) vs. Caudal (Q)				$u^*$ vs [Cc]		Precipitación (vs) Qsf			
		$Q = aR + b$	$r^2$	Tiempo de retraso (días)	RMSE %	$[Cc] = au^{*b}$	$r^2$	$Qsf = aR^b$	$r^2$	Tiempo de retraso (días)	RMSE %
Amazon	Tamshiyacu	$Q = 611 \times R + 422$	0.95	53	29	$[Cc] = 2E + 0.8 \times u^{*6.05}$	0.57	$Qsf = 443 \times R^{2.23}$	0.89	-	30
Solimões	Manacapuru	$Q = 16230 \times R - 630$	0.96	95	5	$[Cc] = 3E + 0.7 \times u^{*5.57}$	0.84	$Qsf = 161 \times R^{1.92}$	0.80	-	23
Madeira	Porto Velho	$Q = 4133 \times R + 1192$	0.99	60	6	$[Cc] = 1E + 0.8 \times u^{*5.74}$	0.65	$Qsf = 443 \times R^{2.23}$	0.89	30	22
Madeira	Fazenda	$Q = 4498 \times R + 771$	0.96	63	11	$[Cc] = 4E + 0.7 \times u^{*5.18}$	0.89	$Qsf = 806 \times R^{2.0}$	0.89	30	30
Branco	Caracarai	$Q = 674.3 \times R - 632$	0.96	23	14			$Qsf = 743 \times R^{1.16}$	0.86	30	34
Amazon	Óbidos	$Q = 30410 \times R - 2521$	0.98	102	13	$[Cc] = 4E + 1.5 \times u^{*11.75}$	0.87	$Qsf = 429 \times R^{2.27}$	0.75	30	34

## FLUJO DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN (QS)

Utilizando las relaciones de la Tabla 1, se puede estimar el flujo de sedimentos en suspensión total (Qs)(Ecuación 3) a través de la adición de los flujos de sedimentos finos (Qsf) y de arenas (Qsc) para el Amazonas y sus tributarios.

$$Qs = Qsf + Qsc = Qsf + Q^*[Cc] \quad (3)$$

Usando esta relación empírica, se obtuvieron resultados semejantes a trabajos previos, donde la contribución de sedimentos finos (Qsf) y de arenas (Qsc) es mayor en el Solimoes que la contribución en el río Madeira (Figura 2).

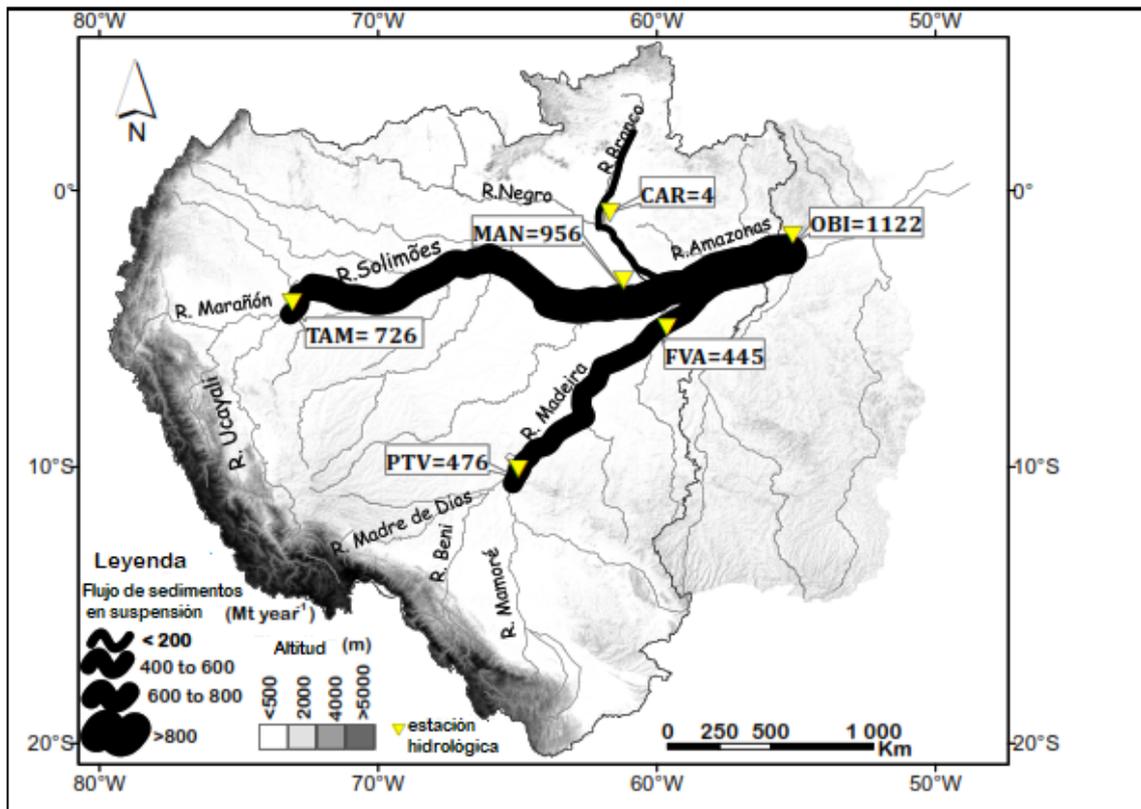


Figura 2. Flujo anual de sedimentos calculado a partir de las relaciones de caudal y precipitación para Tamshiyacu (TAM), Manacapuru (MAN), Porto Velho (PTV), Fazenda Vista Alegre (FVA), Caracarai(CAR) y Óbidos (OBI) con un RSME del 30 %.

## CONCLUSIONES

Para calcular el flujo de sedimentos en la llanura amazónica se ha analizado una base de datos de más de 20 años de muestreo regular de sedimentos en suspensión. Esta información permite establecer relaciones empíricas entre la precipitación, el caudal,  $[Q_{sf}]$  y  $[C_c]$  para los principales tributarios en la cuenca del río Amazonas. Distinguir entre partículas finas y gruesas es importante en el estudio del flujo de sedimentos. La concentración de arenas ( $[C_c]$ ) está fuertemente relacionada con la descarga de agua local, mientras que el flujo de sedimentos finos ( $[Q_{sf}]$ ) está controlado principalmente por la distribución anual de la precipitación.

En otras palabras, el flujo de las partículas finas están influenciadas por la precipitación, mientras que el flujo de sedimentos gruesos tiene una relación con el caudal y el ciclo hidrológico estacional.

Las relaciones empíricas propuestas nos permiten determinar el flujo líquido y de sedimentos en suspensión, bajo diferentes escenarios de precipitación, en la cuenca del Amazonas.

## REFERENCIAS

- Armijos, E., Crave, A., Vauchel, P., Fraizy, P., Santini, W., Moquet, J. S., ... Guyot, J. L. (2013). Suspended sediment dynamics in the Amazon River of Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 44, 75-84.
- Armijos, E., Crave, A., Espinoza, R., Fraizy, P., Santos, A. D., Sampaio, P., Pantoja, N. (2017). Measuring and modeling vertical gradients in suspended sediments in the Solimões/Amazon River. *Hydrological Processes*, 31(3), 654-667.
- Anderson, E. P., Jenkins, C. N., Heilpern, S., Maldonado-Ocampo, J. A., Carvajal-Vallejos, F. M., Encalada, A. C., Salcedo, N. (2018). Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Science Advances*, 4(1), eaao1642.
- Bouchez, J., Métivier, F., Lupker, M., Maurice, L., Perez, M., Gaillardet, J., France-Lanord, C. (2011). Prediction of depth-integrated fluxes of suspended sediment in the Amazon River: Particle aggregation as a complicating factor. *Hydrological processes*, 25(5), 778-794.
- Callède, J., Cochonneau, G., Alves, F., Guyot, J. L., Guimarães, V., & De Oliveira, E. (2010). Les apports en eau de l'Amazonie à l'Océan Atlantique. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 23(3), 247-273.
- Camenen, B., Le Coz, J., Dramais, G., Peteuil, C., Fretaud, T., Falgon, A., ... & Moore, S. A. (2014, September). A simple physically-based model for predicting sand transport dynamics in the Lower Mekong River. In *River Flow Conference* (p. 8).
- Dunne, T., Mertes, L. A., Meade, R. H., Richey, J. E., & Forsberg, B. R. (1998). Exchanges of sediment between the flood plain and channel of the Amazon River in Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, 110(4), 450-467.
- Espinoza J C, Guyot J L, Ronchail J, Cochonneau G, Filizola N, Fraizy P, L..., Vauchel P 2009b Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon Basin 1974–2004 *Journal of Hydrology*. 375 297–311
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., ..., Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2(1), 1-21.
- Guyot, J. L., Filizola, N., Quintanilla, J., & Cortez, J. (1996). Dissolved solids and suspended sediment yields in the Rio Madeira basin, from the Bolivian Andes to the Amazon. IAHS Publication, 55-64.
- Latrubesse, E. M., Arima, E. Y., Dunne, T., Park, E., Baker, V. R., d'Horta, F. ...., Stevaux, J. (2017). Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature*, 546(7658), 363-369.
- McClain, M. E., & Naiman, R. J. (2008). Andean influences on the biogeochemistry and ecology of the Amazon River. *BioScience*, 58(4), 325-338.
- Milliman, J. D., & Farnsworth, K. L. (2013). *River discharge to the coastal ocean: a global synthesis*. Cambridge University Press
- Vauchel P et al. 2017 A reassessment of the suspended sediment load in the Madeira River basin from the Andes of Peru and Bolivia to the Amazon River in Brazil based on 10 years of data from the HYBAM monitoring programme *Journal of Hydrology*. 553 35–48
- Vauchel, P., Santini, W., Guyot, J. L., Moquet, J. S., Martinez, J. M., Espinoza, J. C., ..., Ronchail, J. (2017). A reassessment of the suspended sediment load in the Madeira River basin from the Andes of Peru and Bolivia to the Amazon River in Brazil, based on 10 years of data from the HYBAM monitoring programme. *Journal of Hydrology*, 553, 35-48.

## AVANCE DE INVESTIGACIÓN

# VALIDACIÓN DEL CICLO ANUAL DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR DE DOS REANALYSIS (GLORYS12V1 Y PSY4V3) FRENTE A LA COSTA PERUANA

**Fernando Campos <sup>1</sup> y Kobi Mosquera <sup>1</sup>**

## RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados de la validación del ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM), frente a la costa de Perú y el extremo norte de Chile, simulado por dos modelos globales de alta resolución espacial, GLORYS12V1 y PSY4V3, distribuidos por CMEMS. La validación se realiza confrontando la información de los modelos con datos observados de la TSM del producto denominado MUR (Multi-scale Ultra-High Resolution). Los resultados demuestran que el modelo PSY4V3 es más preciso que GLORYS12V1, ya que este último muestra diferencias en la máxima amplitud del ciclo anual, así como una mayor diferencia cerca a la costa. Es muy probable que las actualizaciones en los esquemas de asimilación de datos, la mayor cantidad de información asimilada y los forzamientos de superficie hayan mejorado la simulación del ciclo anual de la TSM en el producto PSY4V3.

**Palabras clave:** *Temperatura superficial del mar, ciclo anual, modelos numéricos y reanalysis.*

### **AFILIACIÓN:**

1- Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Citar como: Campos, F., Mosquera, K. (2020) *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N° 04. pág. 12 -16.*

## INTRODUCCIÓN

Se sabe que el Perú está expuesto a diversos fenómenos naturales cuyos impactos, frente a nuestra vulnerabilidad, pueden generar pérdidas humanas y económicas. Uno de estos, es el fenómeno El Niño, el cual está relacionado con el incremento de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región del Pacífico ecuatorial que, al desarrollarse en el verano austral y frente a la costa de América del Sur, tiene el potencial de provocar intensas lluvias en la costa norte y centro del Perú (Woodman & Takahashi, 2014).

Por este motivo, es importante contar con herramientas para el diagnóstico y predicción de las condiciones oceánicas en el mar peruano: una de ellas es el conocido *reanalysis* oceánico. Este último pretende reconstruir las condiciones oceánicas empleando las leyes físicas que gobiernan el movimiento de los fluidos en conjunto con observaciones precedentes. Asimismo, el éxito de esta herramienta dependerá de la cantidad de información observada que se use para corregir el resultado final.

Al haber poca información frente a la costa peruana que pueda ser utilizada por el *reanalysis*, se hace necesario que este tipo de herramienta numérica sea validada en sus diferentes variables. En esta línea, el presente trabajo tiene como objetivo validar dos *reanalysis* oceánicos distribuidos por el Servicio de Monitoreo del Medio Marino de Copernicus (CMEMS, por sus siglas en inglés; <http://marine.copernicus.eu>) y compararlos con observaciones no asimiladas en ambos modelos. Para esto, se evaluará el ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM) analizando los cambios en amplitud y fase por medio de un ajuste armónico (Thomson, 2014). La validación se realiza con los productos de MUR (Multi-scale Ultra-High Resolution; Chin et al., 2017), cubriendo el período común de los dos *reanalysis* que va de enero 2016 a diciembre 2018.

La validación del ciclo anual en este trabajo se justifica, pues esta oscilación tiene un rol importante en la dinámica del fenómeno El Niño (Stein et al., 2011; Stuecker et al., 2013) y los modelos numéricos deben representarla con mayor certeza.

## SOBRE LOS REANALYSIS Y MUR

El CMEMS proporciona acceso libre a la información sobre el estado físico y biogeoquímico de los océanos a nivel global y regional, tanto en superficie como a diferentes profundidades. Las bases de datos proporcionadas por esta entidad provienen de diferentes observaciones *in situ* y remotas, así como de los resultados de modelos numéricos. Esta plataforma además cuenta con los resultados, a escala global, de dos modelos numéricos del océano con alta resolución espacial ( $1/12^\circ$ ) y temporal (diaria) que cubren toda la columna de agua. El primero, GLORYS12V1, se usa principalmente para estudios retrospectivos y cubre el intervalo de tiempo que va de diciembre de 1991 a diciembre de 2018. El segundo, PSY4V3, brinda información de las variables físicas del océano con 10 días de pronóstico (Gasparin et al., 2018). Respecto al segundo producto, este tiene diferentes aplicaciones como el manejo de recursos marinos, la seguridad marítima y el pronóstico de las condiciones oceánicas. Además, este producto ha mostrado su efectividad al reproducir procesos físicos en diferentes regiones oceánicas (Lellouche et al., 2013; Drillet et al., 2014; Estournel et al., 2016) y a diferentes escalas espaciales (regional y global, Gasparin et al., 2018).

MUR, por su parte, es una base de datos de la TSM que tiene una alta resolución espacial, la cual se ha generado por la combinación de datos satelitales a diferentes escalas espaciales, mediciones *in situ* de la temperatura y valores de la TSM derivados de la concentración de hielo marino en altas latitudes. Luego, la reconstrucción de las características de la TSM a múltiples escalas espaciales se logra empleando una interpolación objetiva basada en la descomposición de *wavelets*, siendo el producto final una base de datos diaria con un día de retraso, que captura estructuras pequeñas y de gran escala de la TSM (ver más detalle en Chin et al., 2017).

## METODOLOGÍA

Según la metodología empleada en Wyrtki (1965), la evolución temporal de la TSM, para cualquier punto, puede ser expresada mediante un análisis armónico de la siguiente forma:

$$TSM(t) = TSM_{\text{mean}} + \sum_i A_i \cos(tW_i + D_i) + e(t)$$

Donde el término de la izquierda representa el valor observado de la TSM para un tiempo  $t$ ; el primer término de la derecha indica el valor medio de la TSM; el segundo término representa las componentes periódicas, tales como el ciclo anual y semianual entre otros, donde  $A_i$  y  $W_i$  y  $D_i$  representan la amplitud, la frecuencia y la fase de la  $i$ -ésima componente, respectivamente; y el tercer término,  $e(t)$ , indica todo aquello que no puede ser representado por variaciones periódicas. El análisis de este trabajo se concentra en el término que representa las componentes periódicas, específicamente con respecto al ciclo anual de la TSM.

## RESULTADOS PRELIMINARES

En las tres bases de datos, la amplitud del ciclo anual (Figura 1a-c) se caracteriza principalmente por tres regiones: 1) una región con valores menores a 2°C, localizada en la franja ecuatorial hasta Tumbes; 2) una franja costera con valores menores a 3°C, que se inicia en 5°S y se extiende hacia el sur; y 3) una zona con valores mayores a 3°C que se localiza más allá de la franja costera, la cual es más extensa hacia el oeste en el norte que en el sur.

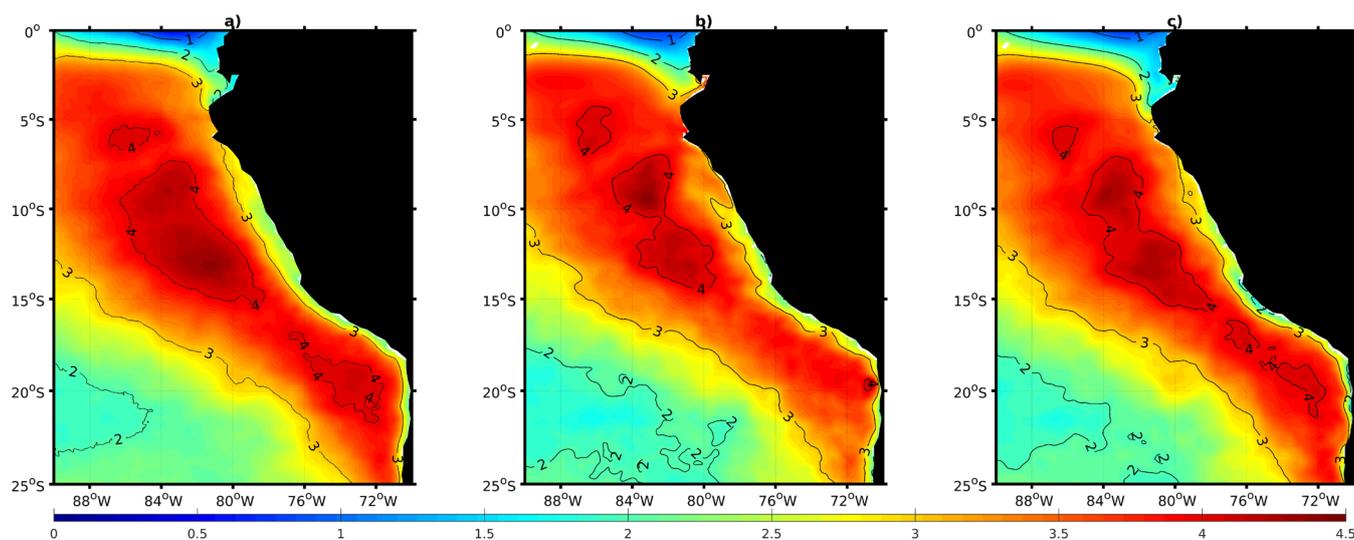


Figura 1. Amplitud del ciclo anual (en °C) de la TSM cubriendo el período 2016-2018 en tres diferentes bases de datos: a) MUR, b) GLORYS12V1 y c) PSY4V3

Por otro lado, las diferencias más notorias se mostraron al interior de la región cálida (zona 3), donde se observan dos núcleos con valores mayores a  $4^{\circ}\text{C}$ , según los datos de satélite (Figura 1a). Aunque PSY4V3 presentó estos núcleos, su distribución espacial fue menor que en las observaciones, principalmente, en el núcleo central y sur. GLORYS12V1, por su parte, no desarrolló los núcleos cálidos al sur, mientras que el núcleo central mostró una distribución espacial menor a los demás. Otra clara diferencia fue observada en la franja costera fría, donde se desarrolla el afloramiento costero, la cual se mostró menos extendida al norte en GLORYS12V1.

La fase del ciclo anual (Figura 2) mostró mayor similitud en sus resultados, con diferencias principalmente en una franja cercana a la costa, extendida desde el dominio sur y los  $14^{\circ}\text{S}$  donde la fase fue superior a  $-1$  rad. En esta región, los datos de GLORYS12V1 se dividieron en dos subregiones una centrada a  $\sim 12^{\circ}\text{S}$  y la otra extendida desde los  $14^{\circ}\text{S}$  hasta la parte sur del dominio.

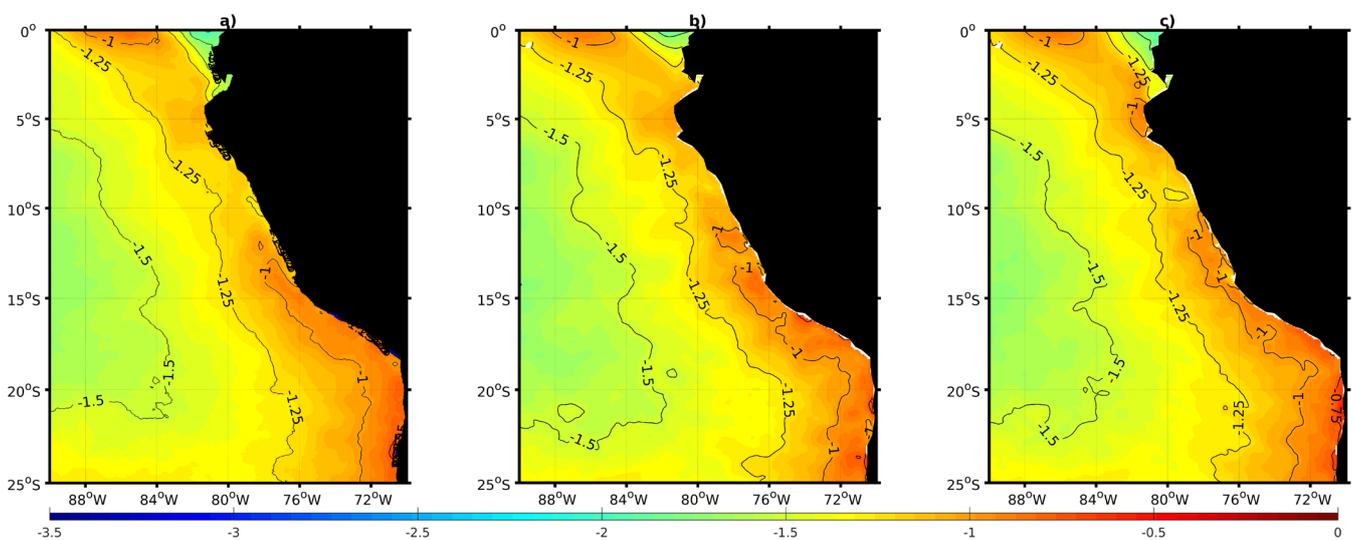


Figura 2. Fase del ciclo anual (en radianes) de la TSM cubriendo el período 2016-2018 en tres diferentes bases de datos: a) MUR, b) GLORYS12V1 y c) PSY4V3.

## CONCLUSIONES

Estos resultados indican que la principal diferencia en el ciclo anual entre los dos productos globales distribuidos por CMEMS y la información observada se desarrolla en la amplitud de la señal, encontrándose que fue más realista en el caso de PSY4V3. Si bien varios factores pueden ser los responsables de estas diferencias; como son las condiciones iniciales, forzantes atmosféricas, datos asimilados, así como esquemas de asimilación (Fernandez et al., 2018; Lellouche et al., 2015); es necesario discernir cuál de ellos es de mayor importancia. Como se menciona en Lellouche et al. (2018), las actualizaciones realizadas en los esquemas de asimilación de datos en el sistema PSY4V3, además de las correcciones de los campos atmosféricos y la entrada de agua dulce, producen mejoras al reproducir los diferentes procesos tanto superficiales como subsuperficiales, lo cual se ve reflejado en este trabajo. Más adelante, para completar la validación de este producto, se analizará la variación semianual, intraestacional e interanual.

## REFERENCIAS

- Chin, T. M., Vazquez-Cuervo, J., & Armstrong, E. M. (2017). A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature. *Remote sensing of environment*, 200, 154-169.
- Drillet, Y., Lellouche, J. M., Levier, B., Drevillon, M., Le Galloudec, O., Reffray, G., ... & Clavier, M. (2014). Forecasting the mixed-layer depth in the Northeast Atlantic: an ensemble approach, with uncertainties based on data from operational ocean forecasting systems. *Ocean Science*, 10(6), 1013.
- Estournel, C., Testor, P., Taupier-Letage, I., Bouin, M. N., Coppola, L., Durand, P., ... & Belamari, S. (2016). HyMeX-SOP2: The field campaign dedicated to dense water formation in the northwestern Mediterranean. *Oceanography*, 29(4), 196-206.
- Fernandez, E., & Lellouche, J. M. (2018). PRODUCT USER MANUAL For the Global Ocean Physical Reanalysis product GLOBAL\_REANALYSIS\_PHY\_001\_030. Report CMEMS-GLO-PUM, (001-030), 15.
- Gasparin, F., Greiner, E., Lellouche, J. M., Legalloudec, O., Garric, G., Drillet, Y., ... & Drévillon, M. (2018). A large-scale view of oceanic variability from 2007 to 2015 in the global high resolution monitoring and forecasting system at Mercator Océan. *Journal of Marine Systems*, 187, 260-276.
- Lellouche, J. M., Le Galloudec, O., Drévillon, M., Régnier, C., Greiner, E., Garric, G., ... & Bourdallé-Badie, R. (2013). Evaluation of global monitoring and forecasting systems at Mercator Océan. *Ocean Science*, 9(1), 57.
- Lellouche, J. M., & Regnier, C. (2015). For the GLOBAL Ocean Sea Physical Analysis and Forecasting Products GLOBAL\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHYS\_001\_002. Product User Manual.
- Lellouche, J. M., Greiner, E., Le Galloudec, O., Garric, G., Regnier, C., Drevillon, M., ... & Hernandez, O. (2018). Recent updates to the Copernicus Marine Service global ocean monitoring and forecasting real-time 1/12° high-resolution system. *Ocean Science*, 14(5), 1093-1126.
- Stein, K., Timmermann, A., & Schneider, N. (2011). Phase synchronization of the El Niño-Southern oscillation with the annual cycle. *Physical review letters*, 107(12), 128501.
- Stuecker, M. F., Timmermann, A., Jin, F. F., McGregor, S., & Ren, H. L. (2013). A combination mode of the annual cycle and the El Niño/Southern Oscillation. *Nature Geoscience*, 6(7), 540-544.
- Thomson, R. E., & Emery, W. J. (2014). *Data analysis methods in physical oceanography*. Newnes.
- Woodman, R., & Takahashi, K. (2014). ¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño). *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, 1(6), 4-7.
- Wyrtki, K. (1965). The annual and semiannual variation of sea surface temperature in the North Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography*, 10(3), 307-313.

# RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO DE EL NIÑO

## PP N°068/EL NIÑO -IGP/2020-03



Foto: Roger Manay

El presente informe es elaborado por el IGP y sirve como insumo para el informe técnico y Comunicado Oficial de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN). Se presentan los principales resultados de los modelos climáticos con el pronóstico de “El Niño”. En ocasiones puede diferir del comunicado del ENFEN, debido a que el comunicado es un consenso. En caso de discrepancias entre el informe técnico de El Niño emitido por el IGP y el comunicado del ENFEN, prevalecerá el comunicado del ENFEN.

Según el valor Índice Costero El Niño (ICEN), basado en los datos de OISSTv2 (ICENOI) y ERSSTv5 (ICENV5), para el mes de febrero de 2020, continúan indicando la condición climática “Neutra” frente a la costa peruana con valores de 0.26 y -0.15, respectivamente. Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) de OISSTv2 para los meses de marzo y abril de 2020 indican condiciones “cálidas débiles”, en cambio los ICENtmp de ERSSTv5 mantienen las condiciones “Neutras”. Con respecto al Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) muestran condiciones “cálidas débiles” para el mes de febrero (0.51 °C) y, según la información de los valores temporales, se esperarían condiciones Neutras para los meses de marzo (0.42 °C) y abril (0.41 °C).

En relación con los datos de altimetría satelital (producto DUACS), la onda Kelvin cálida, continuó impactando la costa peruana, sin embargo, para finales del mes de marzo e inicio de abril se observa un descenso de las anomalías del nivel del mar en la zona norte, como consecuencia de la llegada de una onda Kelvin fría de poca intensidad que se habría formado en la zona oriental. Actualmente, en medio del Pacífico ecuatorial se observa la presencia de otra onda Kelvin fría, la cual está localizada en 140 °W y se esperaría su llegada a la costa peruana en las siguientes semanas.

Según el promedio de los resultados de los siete modelos numéricos climáticos de NMME, inicializados con información oceánica y atmosférica del mes de abril de 2020, se tendría un escenario, tanto en el Pacífico central como oriental, ligeramente frío, siendo para la primera región (central) una condición fría débil a partir de agosto de 2020. Es importante recordar que, debido a la barrera de predictibilidad, los pronósticos para el otoño en adelante no son muy confiables.

Puede acceder al informe técnico de El Niño 2020-03 en el siguiente link:

<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4780>

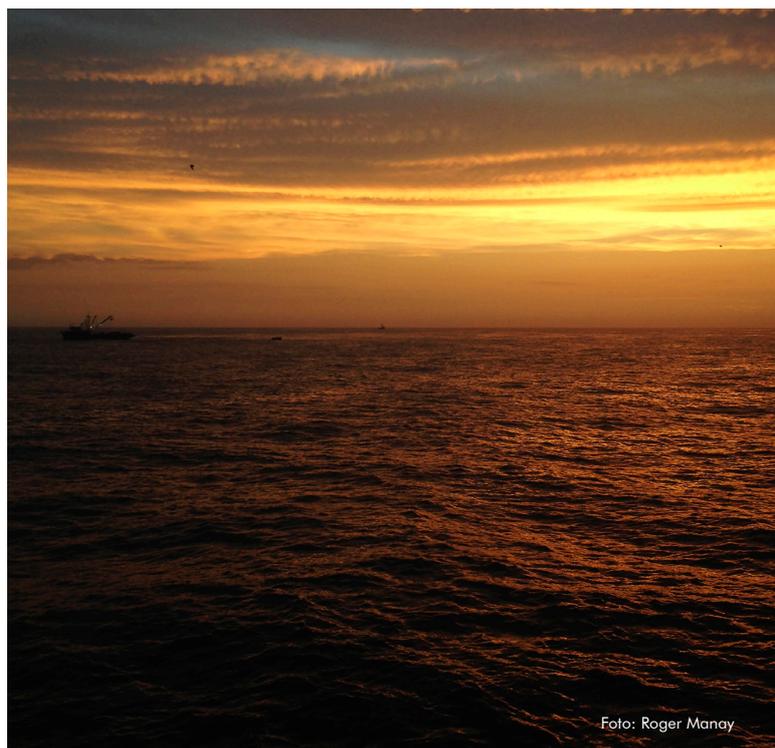
# RESUMEN DEL COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 05-2020

**CALLAO, 17 DE ABRIL DE 2020**

## ESTADO DEL SISTEMA DE ALERTA: **NO ACTIVO**

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de Alerta "No Activo" debido a que, si bien se espera el desarrollo de temperaturas del mar ligeramente por debajo de lo normal frente a la costa del Perú en lo que resta del mes de abril y hasta inicios del invierno, estas se encontrarán dentro del rango de condiciones neutras.

Frente a este panorama, debe considerarse que el periodo en el cual no se desarrolla El Niño o La Niña es oportuno que se realicen las labores de reducción y prevención del riesgo de desastre, por lo cual el ENFEN recomienda que las entidades competentes adopten las acciones correspondientes.



COMISIÓN MULTISECTORIAL  
ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL  
DEL FENÓMENO "EL NIÑO" (ENFEN)  
DECRETO SUPREMO N° 007-2017-PRODUCE



ESTUDIO NACIONAL DEL  
FENÓMENO "EL NIÑO"

<sup>1</sup>El Estado del Sistema de Alerta "No Activo" se da en condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costera están próximos a finalizar.

Puede acceder al Comunicado Oficial del ENFEN N° 05-2020 en el:  
<http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-05-2020/>  
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4779>

### Redes IGP:

<https://www.gob.pe/igp>

 <https://web.facebook.com/igp.peru>

 [https://twitter.com/igp\\_peru](https://twitter.com/igp_peru)

 [https://www.youtube.com/c/IGP\\_videos](https://www.youtube.com/c/IGP_videos)